

составов сплавов, свойства конечных магнитов различны. Как видно из таблицы 2, магнитные свойства различаются. Магниты из сплавов А, Б, В имеют одинаковые хорошие свойства при высоких значениях  $jH_c$  более 17 кЭ, тогда как магнит из сплава Г имеет низкую коэрцитивную силу.

Таблица 2

Результаты измерений магнитных свойств сплавов

Название сплава	Температура разливки, °С	Магнитные свойства			
		$B_r$ , кГс	$bH_c$ , кЭ	$jH_c$ , кЭ	$(BH)_{max}$ , МГсЭ
Сплав А	1520	10,9	10,1	18	27,7
Сплав Б	1490	11,1	10,2	17,5	28,4
Сплав В	1460	11,1	10,2	18	28,5
Сплав Г	1430	11,1	6,0	6,7	26,8

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что для получения стабильных свойств конечных магнитов, следует производить разливку сплава в диапазоне температур 1460–1520 °С и стремиться к поддержанию стабильной температуры 1460 °С.

### Список использованных источников

1. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений: учеб. пособие / Н.В. Кудреватых, А.С. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 198 с.
2. Постоянные магниты: справочник / А.Б. Альтман, А.Н. Герберг, П.А. Гладышев [и др.]; под ред. Ю.М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Энергия, 1980. – 488 с.
3. Конструирование и расчет индукционных плавильных печей: учебное пособие / С.В. Карелов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин, Б.А. Сокунов, Л.С. Грובה; под ред. С.Н. Гущина. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 165 с.

УДК 697.34

**А. Я.-О. Алиев, К. А. Щербинин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

### Аннотация

*Транспортные тепловые потери являются одним из основных показателей энергетической эффективности эксплуатации тепловых сетей и включаются в тарифы на тепловую*

энергию. Определение фактических тепловых потерь при условиях затопления является важной практической задачей. Транспортные потери тепла вызывают падение температуры теплоносителя, вследствие этого удельные тепловые потери по длине трубопровода изменяются. В данной работе, на основе экспериментальных, научных эксплуатационных данных приводится сравнительная оценка нормативных тепловых потерь и фактических потерь на подтопляемых участках трубопроводов с минераловатной изоляцией. Полученные результаты показывают, что фактические тепловые потери намного превышают нормативные, что ведет к значительным прямым убыткам теплоснабжающих организаций.

**Ключевые слова:** затопление; тепловые потери; теплопроводность; изоляция.

#### **Abstract**

*Transport heat losses are one of the main indicators of energy efficiency of operation of heat networks and are included in tariffs for thermal energy. Determination of actual heat losses under flood conditions is an important practical task. Transport losses of heat cause a drop in the temperature of the coolant, as a result of which the specific heat losses along the length of the pipeline change. In this paper, based on experimental, scientific and operational data is an assessment of thermal losses on flooded pipeline sections with mineral wool insulation. The obtained results show that the actual heat losses far exceed the normative ones, which leads to significant direct losses of heat supply organizations.*

**Key words:** flooding; heat losses; heat conductivity; isolation.

Россия – это страна с наибольшей протяженностью сети трубопроводов отопления и горячего водоснабжения. Суммарная протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет около 183 300 км, средний процент износа теплосетей оценивается в 60–70 %. По экспертной оценке, 15 % тепловых сетей требуют безотлагательной замены. Для приведения системы транспорта теплоносителя в надежное состояние необходимо капитально отремонтировать или построить заново 130 тыс. км теплотрасс в двухтрубном исчислении. Потери в тепловых сетях достигают 30 %.

Существует множество способов определения удельной и полной величины тепловых потерь от теплоносителя к окружающей среде, при его транспортировке от источника тепловой энергии к её потребителю. Чем меньше величина данных потерь, тем эффективней работает транспортная система, а значит, потребуется сжечь меньшее количество топлива, чтобы обеспечить снабжение потребителя необходимым количеством тепловой энергии. Ежегодно из-за несовершенства теплоизоляционных конструкций (отсутствия целостности покрытия, затопления каналов и намокания изоляции) трубопроводов теряется значительное количество тепловой энергии, следовательно, и денежных средств.

Основным определяющим показателем качества современных теплоизоляционных материалов является их низкая теплопроводность. Теплопроводность – это способность материала пропускать теплоту сквозь свою толщину, характеризующаяся коэффициентом теплопроводности  $\lambda, \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

В работе [1] были представлены экспериментальные значения удельных линейных тепловых потерь трубопроводов в условиях затопления и рассчитаны значения эквивалентного коэффициента теплопроводности  $\lambda_3, \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ , при полном намокании тепловой изоляции. При полном намокании теплоизоляционного слоя удельные тепловые потери возрастают по отношению к нормативным

значениям в  $\approx 10 \div 20$  раз, согласно расчетам. Например, при температуре поверхности стальной трубы  $t_{cm} = 65^\circ\text{C}$  и использовании минераловатной изоляции фактические значения удельных линейных тепловых потерь возрастают с 15 Вт/м в сухом состоянии до 300 Вт/м при полном намокании. Величина таких потерь является одним из основных факторов экономичности теплоснабжения потребителей. При передаче тепловой энергии в сетях их предельный уровень нормируется [2]. Сверхнормативные же значения тепловых потерь являются прямыми убытками теплоснабжающих организаций.

Для точного определения тепловых потерь и масштаба всех величин, вытекающих из условий при затоплении канала с трубопроводом, необходимо вести постоянную проверку условий эксплуатации трубопроводов и учёт затоплений при плановом обходе ремонтными бригадами закреплённых за предприятием каналов.

Определим фактические тепловые потери при постоянном подтоплении канала с участком трубопровода  $L = 100\text{ м}$ . Расчет производится для среднегодовых значений температуры сетевой воды в подающем трубопроводе  $t_g = 65^\circ\text{C}$ , в обратном  $t_o = 50^\circ\text{C}$  интегральным методом с учётом снижения температуры сетевой воды, обусловленным тепловыми потерями.

Нормируемая величина удельных тепловых потерь с поверхности изолированного трубопровода имеет место быть только в том случае, когда поры материала наполнены воздухом. В реальных эксплуатационных условиях возможно проникновение грунтовых вод к поверхности изолирующего слоя или внутренние повреждения системы трубопроводов.

Определим массовый расход теплоносителя в трубопроводе при  $d = 89\text{ мм}$

$$G = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \omega \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,089^2}{4} \cdot 0,492 \cdot 1000 = 2,275 \text{ кг/с}. \quad (1)$$

Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, определенный экспериментальным образом при средней температуре тепловой изоляции для случая полного намокания –  $\lambda_{из} = 1,253, \text{ Вт/м} \cdot (\text{м} \cdot \text{К})$ .

Рассчитываем удельные тепловые потери с метрового участка трубопровода внешним диаметром  $d_1 = 0,089\text{ м}$ , через теплоизоляционный слой с нормативной толщиной  $\delta = 0,084\text{ м}$  с учётом расчетного значения коэффициента теплопроводности слоя изоляции.

$$q_l = \frac{t - t_n}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln\left(\frac{d_1 + \delta}{d_1}\right)} = \frac{65 - 20}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,253} \cdot \ln\left(\frac{0,089 + 2 \cdot 0,084}{0,089}\right)} = 344,82, \text{ Вт/м}. \quad (2)$$

Потери теплоты через изоляцию приводят к уменьшению температуры теплоносителя, поэтому уточняется температура воды после прохождения 10-ти метрового участка трубопровода.

Далее для этих температур считаются удельные линейные тепловые потери для последующих метровых участков трубопровода. После, по данному значению тепловых потерь определяется температура на четвертом метре и так далее. Расчёты приобретают последовательный циклический характер.

Когда удельные тепловые потери рассчитаны на каждом метровом участке прямого и обратного трубопровода, значения суммируются.

$$q_{l10,м}^{np} + q_{l20,м}^{np} + q_{l30,м}^{np} + \dots = q_{lсумм}^{np} ; \quad (3)$$

$$q_{l10,м}^{обр} + q_{l20,м}^{обр} + q_{l30,м}^{обр} + \dots = q_{lсумм}^{обр} ; \quad (4)$$

$$q_{lсумм}^{np} + q_{lсумм}^{обр} = q_{lсумм} . \quad (5)$$

Суммарные тепловые потери с прямого и обратного трубопровода, Вт, переводятся в годовое значение тепловых потерь с данного участка трубопровода, Гкал/год.

$$Q_{год.пот.} = (q_{lсумм} \cdot n_{сек}) \cdot n_{час} \cdot n_{сут} / (4,187 \cdot 10^6) = 511226,51 \cdot 3600) \cdot 24 \cdot 240 / (4,187 \cdot 10^6) = 249,38 . \quad (6)$$

где  $n_{сек}$  — количество секунд в часе;  $n_{час}$  — количество часов в сутках;  $n_{сут}$  — количество дней отопительного сезона [3].

В таблице представлены нормативные и сверхнормативные значения удельных линейных тепловых потерь, рассчитанных для климатической зоны г. Екатеринбурга с расчетной температурой наружного воздуха  $t_{н.в.} = -32^{\circ}\text{C}$  и постоянным подтоплением тепловых сетей в течение отопительного сезона  $n = 221$  сут.

Таблица

Тепловые потери с участков трубопровода различного диаметра  
в результате круглогодичного затопления

Наружные диаметры трубопроводов	Средневзвешенная скорость теплоносителя	Годовые тепловые потери с трубопровода (L=100 м)		Разница годовых в затопленном состоянии и нормативных тепловых потерь, Q, Гкал/год
		Нормативные	Фактические	
мм	м/с	Гкал/ год	Гкал/ год	
38	0,192	10,41	95,63	85,22
57	0,538	12,39	184,19	171,8
89	0,492	15,36	249,38	234,02
108	0,539	16,85	286,73	269,88
133	0,764	19,33	343,57	324,24
159	0,608	20,82	370,94	350,12
219	0,699	25,77	473,62	447,85
273	0,641	29,74	563,31	533,57
325	0,922	33,21	647,02	613,81
377	1,083	37,17	741,32	704,15
426	0,779	40,14	809,18	769,04
480	0,703	44,11	904,03	859,92
529	1,235	47,58	989,83	942,25

Так же данные нормативных и фактических потерь показаны в виде графической гисограммы на рисунке 1.



Рис. 1. Превосходство фактических тепловых потерь над нормативными для участка трубопровода  $L = 100$  м

### Список использованных источников

1. Щербинин К.А., Цукасова А.В. Экспериментальное исследование величины фактических тепловых потерь при затоплении теплопроводов канальной прокладки. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 15-18 декабря 2015 года. Екатеринбург: УрФУ, 2015.
2. Порядок определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя: Приказ Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 325, г. Москва.
3. СП 124.13330.2012 (СНиП 41-02-2003) «Тепловые сети»: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012 г., г. Москва.

УДК 621.6.04

**И. Б. Амарская, В. Н. Королев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИНЫ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВВЕРХ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ПО ТРУБКЕ, ОПУЩЕННОЙ В НЕПОДВИЖНЫЙ ПРОДУВАЕМЫЙ ЗЕРНИСТЫЙ СЛОЙ

### Аннотация

Экспериментально исследован необычный эффект, заключающийся в том, что если трубку опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то внутри трубки частицы слоя начинают интенсивно перемещаться вверх, вследствие чего высота слоя частиц в